

Применение математических методов и искусственного интеллекта в области медицины

Г. А. Машевский

*Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)*

Aniket@list.ru

Г. В. Орлов

*Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)*

sifon8998@mail.ru

Аннотация. Рассматривается роль методов математического анализа и искусственного интеллекта в медицине. Приведены примеры использования методов искусственного интеллекта для решения различных медицинских задач.

Ключевые слова: математическое моделирование, биомедицинская инженерия, методы искусственного интеллекта

I. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ МЕДИЦИНЫ

В настоящий момент применение методов математического анализа сигналов и данных, а также искусственного интеллекта стало неотъемлемой частью лечебно-диагностического процесса. Многие задачи современной медицины не представляется возможным решить без применения вычислительной и компьютерной техники. Однако подобная ситуация сложилась далеко не сразу и на протяжении большей части истории человечества медики могли полагаться только на собственную интуицию и крайне ограниченный объём информации о состоянии пациента. Поэтому, перед тем как определить место, которое занимает математический анализ данных в современной медицине необходимо рассмотреть, как шёл процесс внедрения различных технических средств в медицинскую практику.

Полноценное начало массового использования медицинской техники приходится на конец XIX века, хотя отдельные виды медицинских приборов, таких как термометр или спирометр применялись и ранее. В дальнейшем, в процессе развития технических средств в медицине можно выделить четыре основных стадии, в каждой из которых имелось собственное её «направление роста».

Первый этап приходится на конец XIX – начало XX веков. Он характеризовался широким внедрением принципиально новых методов диагностики и видом медицинской техники. Развитие носило выраженный экстенсивный характер, когда различные группы исследователей стремились изучить возможность применения различных достижений физики для диагностики и лечения пациентов. Основные усилия оказались сосредоточены на поиске новых методов получения первичной медицинской информации, обработка данных производилась в основном вручную, её интерпретация – интуитивно.

Второй этап приходится примерно на 60-е – 80-е годы прошлого века. К этому моменту процесс

разработки новых методов получения медицинских данных существенно застопорился (хотя и не потерял полностью своей актуальности вплоть до настоящего момента). С другой стороны именно в это время начинается активное внедрение математических методов обработки и анализа медицинских данных. Основные усилия сосредотачиваются на поиске новых методов извлечения дополнительной информации из уже известных видов медицинских сигналов и данных. Процесс постановки врачебного заключения начинает автоматизироваться и алгоритмизироваться, предпринимаются первые попытки использования ЭВМ в медицинских целях. Также к этому времени относится и зарождение основ доказательной медицины.

Третий этап пришёлся на 80-е годы XX века – конец нулевых XXI века и был связан с массовым внедрением в лечебно-диагностический процесс компьютерных и сетевых технологий, в том числе и интернета. Основные усилия на этом этапе оказались сосредоточены на автоматизации процессов получения, обработки и передачи медицинских данных. Началось активное использование персональных компьютеров для выполнения расчётов, вспомогательных операций, анализа статистических данных и т. п. Происходит объединение медицинской диагностической и терапевтической техники, а также рабочих терминалов врачей в единые информационные сети. Всё это также сделало возможным начало реального использования во врачебной практике телемедицины и медицинских роботов.

Четвёртый этап начался в 10-е годы XXI века и продолжается по настоящее время. Он оказался связан с полноценным внедрением искусственного интеллекта. Основные усилия сосредоточились на создании интеллектуальных систем, способных самостоятельно обрабатывать медицинские данные, ставить диагнозы и давать рекомендации по лечению пациентов. Происходит активное внедрение медицинских информационных и экспертных систем, активное использование искусственных нейронных сетей, в том числе больших языковых моделей. Приметой времени становится то, что точность постановки «машинных» диагнозов в отдельных направлениях медицины начинает превышать таковую у врачей-экспертов.

II. РОЛЬ МАТЕМАТИКИ И МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В КЛИНИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЕ

Клиническая медицина – это группа медицинских дисциплин, изучающих болезни человека, методы их распознавания, лечения и предупреждения. Начиная с

последних десятилетий прошлого века, в лечении пациентов действует подход, получивший наименование «доказательная медицина». Он базируется на следующих постулатах:

- каждое решение врача должно основываться на научных данных;
- вес каждого факта тем больше, чем строже методика научного исследования, в ходе которого он был получен.

Массовое внедрение подходов доказательной медицины в свою очередь потребовало использование эффективных методов получения объективных данных о состоянии пациента, что стало возможным за счёт использования математического и статистического анализа. При этом основная важность их применения является следствием сложности и комплексности протекающих в организме процессов, а также большое количество факторов различной природы способных на них повлиять.

На рис.1 схематически представлена модель организма в виде «чёрного ящика». Можно видеть, что во время лечебно-диагностического процесса изменение состояния пациента будет зависеть не только от оказываемых на него целенаправленных воздействий – входных контролируемых факторов. Также результат будет зависеть от воздействия неконтролируемых факторов, а также от случайных факторов, о существовании которых исследователю не будет даже известно. Очевидно, что учесть все эти факторы интуитивно не представляется возможным, что требует применения соответствующих методов математического анализа.

Развитием применения данных методов в медицине стал переход от использования относительно простых математических методов к внедрению технологий искусственного интеллекта. Статистика свидетельствует о том, что в последние десять лет наблюдается взрывной интерес к применению технологий машинного и глубокого обучения – с 2009 по 2019 годы число публикаций по данной тематике выросло более чем в 25 раз. [1]

В настоящий момент искусственный интеллект в медицине может использоваться для решения следующих задач:

- предварительная обработка и визуализация сигналов и данных;
- постановка диагноза и формирование рекомендаций по лечению пациента;
- прогнозирование изменения состояния пациента;
- распознавание речи;
- автоматические чат-боты для поддержки пациентов;
- управление медицинской терапевтической и хирургической техникой.

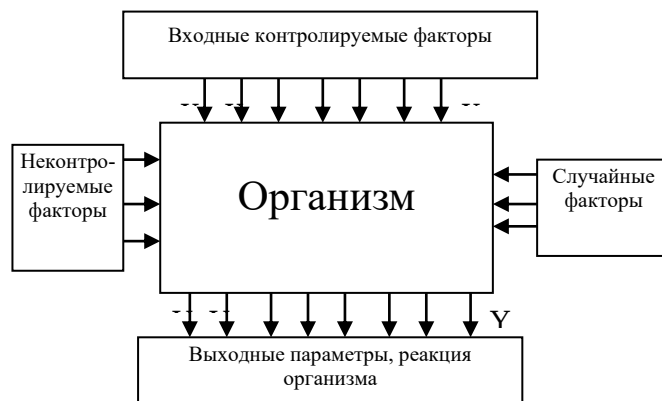


Рис. 1. Модель организма в виде чёрного ящика

Системы, основанные на технологиях искусственного интеллекта, имеют важное отличие от обычных программ и методов автоматизированной постановки диагноза. Программы строятся на базе чётко заданного алгоритма их функционирования, в случае постановки диагноза принимающих обычно вид набора решающих правил вида: «если..., то...». Системы искусственного интеллекта используются там, где процесс принятия решений не может быть алгоритмизирован. Вместо этого для их создания используется процесс машинного обучения. Т.е. системе предоставляется некоторый набор обучающих примеров, и она самостоятельно за счёт использования некоторого математического аппарата должна выявить в ней определённые закономерности.

Выделяют две основные формы машинного обучения. Обучение с учителем предполагает, что система тренируется на размеченном наборе обучающих примеров, класс каждого из которых известен. Обучение без учителя применяется в том случае, когда класс обучающих примеров неизвестен. При обучении исходный набор данных разбивается на обучающую, контрольную и тестовую выборки, обычно в соотношении 70 %/15 %/15 %. На обучающей выборке осуществляется непосредственно процесс обучения самой модели. На контрольной выборке осуществляется первичная оценка качества работы модели. На тестовой выборке производится окончательная оценка качества работы модели. Процесс обучения носит итерационный характер, обычно он останавливается, когда при новых итерациях обучения ошибка модели перестаёт уменьшаться.

В зависимости от сложности решаемой задачи могут применяться различные виды математических методов. Для построения сравнительно простых ИИ-моделей могут использоваться:

- деревья решений и случайные леса;
- логистическая регрессия;
- сети доверия Байеса;
- метод опорных векторов;
- метод группового учёта аргументов;
- «простые» нейронные сети (линейные, персептроны и т. п.).

Большинство сложных моделей строятся на основе использования свёрточных нейронных сетей и методов глубокого обучения. Принципиально отличие таких сетей заключается в наличии в них очень большого числа слоёв нейронов, большая часть из которых самостоятельно извлекает набор анализируемых признаков из исходных данных (например – изображения). Также в состав сети входит т. н. верхняя модель – один или несколько слоёв нейронов, отвечающих за окончательное заключение модели. Как правило, подобные сети не создаются с нуля, а получаются путём модификации и переобучения уже известных моделей, предназначенных для решения аналогичных задач.

III. ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ЗАДАЧ

Рассмотрим примеры применения искусственного интеллекта для решения практических задач в области медицины.

A. Система поддержки принятия решения врача-гастроэнтеролога при диагностике воспалительных заболеваний кишечника

Система была разработана совместно студентами и сотрудниками СПбГЭТУ «ЛЭТИ» и СЗГМУ им. Мечников. Целью работы являлась разработка системы поддержки принятия решения врача-гастроэнтеролога при диагностике воспалительных заболеваний кишечника (ВЗК) на основе анализа эндоскопических изображений [2, 3]. Исследование было проведено на массиве, состоящем из 1074 эндоскопических изображений толстой кишки с разрешением 1350*1080 и 1232*1048 пикселей в формате JPEG. Изображения в массиве соответствовали эндоскопическим картинам при отсутствии (класс «норма») и наличии ВЗК (класс «патология»). Класс «норма» состоял из 304 изображений, «патология» – из 770 изображений, при этом в него входили изображения эндоскопической картины как болезни Крона (БК), так и язвенного колита (ЯК). Подкласс БК был представлен 375 изображениями, а класс ЯК – 395.

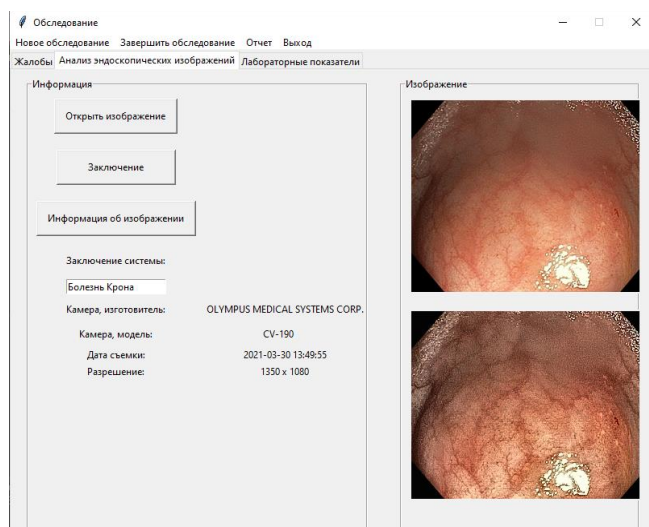


Рис. 2. СПДР врача-гастроэнтеролога при диагностике воспалительных заболеваний кишечника – окно обследования

Изображения были подвергнуты предварительной обработке, направленной на удаление с них шумов и артефактов. Затем массив был увеличен путём проведения процедуры аугментации. Было построено две модели, первая из которых позволила делать заключение вида норма/патология, а вторая – ЯК/БК. Результаты оценки адекватности моделей представлены в табл. 1 и 2.

ТАБЛИЦА I. РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ О НАЛИЧИИ ВЗК

Класс	Специфичность	Чувствительность
Норма	1,00	1,00
Патология	1,00	1,00

ТАБЛИЦА II. РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ О ВИДЕ ВЗК

Класс	Специфичность	Чувствительность
БК	1,00	0,80
ЯК	0,83	1,00

На основе разработанных моделей была создана система поддержки принятия решения врача-гастроэнтеролога при диагностике воспалительных заболеваний кишечника, одно из окон которой представлено на рис. 2.

B. Система поддержки принятия решений врача при анализе изображения компьютерной томографии почек

Система была разработана на кафедре биотехнических систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Целью исследования являлась разработка системы поддержки принятия решения врача, анализирующую изображение компьютерной томографии почек и осуществляющую поддержку принятия решения врача о возможности применения дистанционной литотрипсии [4, 5]. Литотрипсия – это процедура разрушение камней в почках, которая может выполняться как контактным, так и дистанционным способом. Задачей являлось дать прогноз, будет ли эффективной дистанционная литотрипсия в случае конкретного пациента. Для этого анализировались сведения о пациенте (жалобы, анамнез), результаты его лабораторных обследований и изображения, полученные при помощи компьютерной томографии. Структурная схема разработанной системы, представленная на рис. 3.

Для формирования прогноза была разработана нейронная сеть, оценки адекватности которой представлены в табл. 3.

ТАБЛИЦА III. РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСТАНЦИОННОЙ ЛИТОТРИПСИИ

Выборка	Accuracy	Precision	Recall
Обучающая	98%	98%	98%
Контрольная	98,71%	98,95%	98,55%
Тестовая	98,79%	98,37%	98,59%



Рис. 3. Структурная схема биотехнической системы диагностики пациентов с заболеваниями почек

С. Система для анализа загруженности регистратуры клинично-диагностического центра «Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова»

Работа была выполнена на кафедре Биотехнических систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ». В рамках данного исследования разработана информационная система, направленная на оптимизацию работы регистратуры клинично-диагностического центра «Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова». Основной целью системы является анализ загруженности регистратуры с применением современных технологий компьютерного зрения и машинного обучения, что позволяет прогнозировать поток пациентов, управлять очередями и повышать общую эффективность работы медицинского учреждения.

Разработка системы осуществлена на основе фреймворка Django с использованием языка программирования Python. Ключевой задачей системы является автоматический анализ загруженности регистратуры посредством видеонаблюдения и алгоритмов машинного обучения. Для этого использованы камеры видеонаблюдения, установленные в регистратуре, которые передают видеопоток в реальном времени. Обработка видеоданных и подсчет количества людей в регистратуре выполнены с применением модели YOLOv8 (You Only Look Once), представляющей собой одну из последних версий алгоритма для обнаружения объектов в реальном времени. Выбор YOLOv8 обусловлен её высокой скоростью обработки и точностью обнаружения объектов. Модель была дообучена на специализированном наборе данных, полученном из записей видеонаблюдения регистратуры, что позволило значительно повысить точность распознавания людей в условиях реальной загруженности медицинского учреждения.

Основные компоненты системы включают модуль видеонаблюдения и обработки данных, графический интерфейс, модуль прогнозирования загруженности и инструменты для анализа эффективности работы регистратуры. Модуль видеонаблюдения и обработки данных интегрирует видеопоток с камер наблюдения и обрабатывает его с помощью модели YOLOv8. Алгоритм обнаруживает и подсчитывает количество людей в регистратуре, что позволяет оценить текущую загруженность. Точность подсчета составляет порядка 95 %, что является высоким показателем для подобных задач. Графический интерфейс системы строит графики загруженности регистратуры в реальном времени на основе данных, полученных от модели YOLOv8. Пользователи могут анализировать изменения загруженности за определённые периоды времени, что способствует принятию обоснованных решений по управлению очередями и распределению ресурсов. Для прогнозирования будущей загруженности регистратуры использована нейронная сеть в сочетании с моделью авторегрессионного интегрированного скользящего среднего (ARIMA). Система анализирует исторические данные о количестве пациентов и строит прогнозы на основе этих данных, что позволяет администрации медицинского центра заранее планировать ресурсы и оптимизировать работу регистратуры. Инструменты для анализа эффективности работы регистратуры предоставляют возможность оценить показатели, такие как среднее время ожидания пациентов, на основе данных о времени ожидания и количестве обслуживаемых людей. Это позволяет выявлять слабые места в работе регистратуры и принимать меры для улучшения качества обслуживания.

Результаты работы системы демонстрируют, что использование модели YOLOv8 и машинного обучения позволяет значительно повысить точность анализа загруженности регистратуры. Средняя точность обнаружения объектов (mAP50) составила 58.9 %, что является высоким показателем для подобных задач. Кроме того, система обеспечивает прогнозирование

загруженности регистратуры с высокой точностью, что способствует эффективному управлению очередями и ресурсами со стороны администрации медицинского центра. Разработка данной системы имеет значительный потенциал для дальнейшего применения в других медицинских учреждениях. В перспективе планируется улучшение алгоритмов анализа эффективности работы регистратуры и внедрение автоматического управления процессом приёма пациентов, что позволит ещё больше повысить качество обслуживания пациентов и сократить время ожидания.

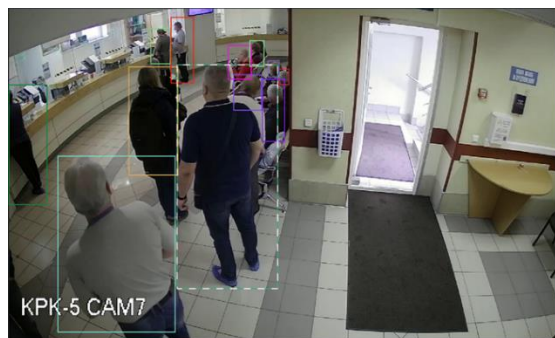


Рис. 4. Запись с камер видеонаблюдения регистратуры в КДЦ «НМИЦ В.А.Алмазова»

Таким образом, разработанная система представляет собой инновационный подход к мониторингу и управлению загруженностью регистратуры, что делает её важным инструментом для повышения эффективности работы медицинских учреждений. Применение современных технологий компьютерного зрения и машинного обучения открывает новые возможности для оптимизации процессов в медицинских учреждениях, что особенно актуально в условиях роста нагрузки на систему здравоохранения.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Математический анализ данных в настоящий момент стал неотъемлемой частью медицинской практики. Также в последнее десятилетие в лечебно-диагностический процесс всё более активно стали внедряться технологии искусственного интеллекта. Его использование позволяет решать медицинские задачи самого разнообразного характера.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Коллектив авторов выражает благодарность доценту кафедры Биотехнических систем Семеновой Е.А за возможность использования результатов её исследования при подготовке данного доклада.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] <https://habr.com/ru/companies/first/articles/682516/>
- [2] Бакулин И.Г., Расмагина И.А., Скалинская М.И., Машевский Г.А., Шелякина Н.М. Применение искусственного интеллекта для анализа эндоскопических изображений при воспалительных заболеваниях кишечника. Терапия. 2022. Т. 8. № 7 (59). С. 7-14.
- [3] Бакулин И.Г., Расмагина И.А., Деев Р.В., Машевский Г.А., Шелякина Н.М. Анализ гистологических изображений биоптатов слизистой толстой кишки у пациентов с воспалительными заболеваниями кишечника при помощи искусственной нейронной сети. Медицинский вестник МВД. 2023. Т. 124. № 3 (124). С. 21-24.
- [4] Сигуа Б.В., Клеймюк С.В., Захаров Е.А., Семенова Е.А., Логинова Д.Д., Земляной В.П. Возможности искусственного интеллекта при оценке патологии поджелудочной железы по данным спиральной компьютерной томографии. // Вестник экспериментальной и клинической хирургии, т. 17, №4(65), 2025. С. 209-216.
- [5] Логинова Д.Д. Разработка системы поддержки принятия решения врача-уролога // Гагаринские чтения 2024 Тезисы доклада 50-й международной молодёжной конференции. 2024. С. 271-272.