

analyzing the production line for leveling chilled semi-finished products. Part of the initial data was obtained from the drawings of the robotic arm, which is the basis of the semi-finished product alignment system. Calculations of the required pressing force on semi-finished products, vibration frequency, and movement of semi-finished products have been carried out. As a result of the experiments, it was found that the constructed mathematical model for the alignment of semi-finished products is satisfactorily adequate. The created mathematical model made it possible to improve the characteristics of the robotic arm and calculate the effective parameters of the automation system for leveling chilled semi-finished products.

*Keywords:* vibration impact, packaging of semi-finished products, food production, mathematical modeling, robotics, automatic control systems.

Поступила в редакцию/received: 24.10.2022; после рецензирования/ revised: 11.11.2022;  
принята/accepted: 24.11.2022

УДК 004.853

## **АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ \***

Р.Н. ЧИРКОВ, д-р мед. наук, О.Н. БАХАРЕВА, канд. мед. наук,  
Н.П. ЛОПИНА, канд. хим. наук, Г.Е. БОРДИНА, канд. биол. наук,  
Г.С. ПАРШИН, студент

Тверской государственной медицинской университет,  
170100, Тверь, ул. Советская, 4, e-mail: nadezhda\_lopina@mail.ru

© Чирков Р.Н., Бахарева О.Н., Лопина Н.П.,  
Бордина Г.Е., Паршин Г.С., 2023

Статья посвящена анализу наиболее важных для повышения качества медицины и уровня здравоохранения направлений применения машинного обучения – одной из технологий искусственного интеллекта. Отмечается, что машинное обучение особенно эффективно при решении определенного ряда отраслевых задач (от разработки лекарств до прогнозирования заболеваний человека), выявленного в ходе исследования. В качестве критерия экспертного анализа информации о применении машинного обучения использовано мнение специалистов о достигнутом положительном эффекте. Делается вывод, что главная особенность реализации данной технологии в медицине в настоящее время связана с рисками точного прогнозирования результатов применения искусственного интеллекта.

*Ключевые слова:* искусственный интеллект, машинное обучение, медицина, здравоохранение.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2023-1-70-79**

### **ВВЕДЕНИЕ**

В отечественной концепции развития искусственного интеллекта (ИИ) одним из главных направлений повышения качества и уровня здравоохранения названо

---

\* Материалы были представлены на научном семинаре «Золотовские чтения», посвященном 100-летию со дня рождения выдающегося российского математика, академика АН СССР Золотова Евгения Васильевича (6–7 октября 2022, Тверь, Тверской государственной технической университет).

использование технологий ИИ в медицине [1]. Под ИИ (англ. Artificial Intelligence) в данном документе понимается комплекс технологических решений, позволяющих имитировать когнитивные функции человека и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые как минимум с результатами интеллектуальной деятельности человека. Комплекс технологических решений включает в себя информационно-коммуникационную инфраструктуру, программное обеспечение (в том числе то, в котором задействованы методы машинного обучения), процессы и сервисы по обработке данных и поиску решений.

Построение моделей систем машинного обучения в настоящее время является одной из самых популярных и современных областей человеческой деятельности, формирующейся на стыке информационных технологий, математического анализа и статистики. Вместе с тем машинное обучение характеризуется рядом особенностей. Во-первых, для поиска вычислительной системой непредвзятого решения требуется ввести репрезентативный, релевантный и размеченный корректно набор данных. Во-вторых, алгоритмы вычислений, например в нейронных сетях, крайне сложны для интерпретации, следовательно, результаты работы указанных сетей могут быть подвергнуты сомнению и отменены человеком. Это особенно принципиально в медицине, так как принимаемые в этой сфере решения связаны с риском для здоровья и жизни человека, реализация их может породить ряд новых этических и юридических вопросов. Отсутствие понимания того, как ИИ достигает результатов, является одной из причин низкого уровня доверия к современным технологиям ИИ и может стать препятствием для их развития. На основании изложенного актуальность предложенной темы работы, заключающейся в анализе основных направлений применения машинного обучения в здравоохранении, не вызывает сомнений.

Цель работы – выявление актуальных направлений применения машинного обучения для повышения качества предоставления услуг в сфере медицины и здравоохранения. Цель достигается за счет анализа опубликованных источников, в которых рассматривается эффект от использования машинного обучения в классической медицине (она включает в себя различные методы, разработанные для поддержания и восстановления здоровья благодаря профилактике и лечению заболеваний).

Объект исследования – виды машинного обучения как инструмента, применяемого в различных областях медицины, а предмет – метод машинного обучения в указанной сфере.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Единого, общего определения машинного обучения на данный момент не существует. Например, Т. Митчелл, американский ученый, профессор Университета Карнеги – Меллона, основатель первой в мире кафедры машинного обучения и автор первого учебника по этому предмету, пишет, что «машинное обучение – это учение о компьютерных алгоритмах, которые улучшаются автоматически с помощью опыта» [2, 3]. В корпорации Google трактуют машинное обучение как «процесс, в ходе которого система обрабатывает большое число примеров, выявляет закономерности и использует их, чтобы прогнозировать характеристики новых данных» [4]. Технологические решения, разработанные с использованием методов машинного обучения, являются примером ИИ, способного решать только узкоспециализированные задачи (так называемого слабого (Weak AI) ИИ). Создание универсального, сильного (Strong AI) ИИ, подобного человеческому, является перспективным, но сложным научно-техническим направлением.

Для достижения цели работы было предложено уточненное определение машинного обучения – одна из форм (подмножество) ИИ, заключающаяся в

применении математических моделей данных, которые помогают компьютеру обучаться без непосредственных инструкций и с помощью алгоритмов выявлять закономерности в этих данных. На основе полученных закономерностей создаются модели данных для прогнозирования. Чем больше информации обрабатывает такая модель и чем дольше она используется, тем точнее становятся результаты. Описанный механизм очень похож на то, как человек оттачивает свои навыки на практике.

Согласно документу «Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года», наиболее важными в плане повышения качества услуг в сфере здравоохранения направлениями выступают [1]:

- профилактическое обследование;
- диагностика, основанная на анализе изображений;
- прогнозирование возникновения и развития заболеваний;
- подбор оптимальных дозировок лекарственных препаратов;
- сокращение угроз пандемий;
- автоматизация и точность хирургических вмешательств.

Известно, что методы анализа информации делятся на качественные и количественные (например, статистических исследований). Исходя из особенностей рассматриваемой информации в области использования машинного обучения в медицине, ее полноты и достоверности, в качестве метода анализа выбран метод экспертных оценок, включающий учет и оценку различных мнений экспертов по результатам опубликованных данных [5]. Критерием экспертного анализа информации о применении машинного обучения принято мнение специалистов о достигнутом положительном эффекте.

Глубина поиска информации составляла не менее 20 лет для печатных и электронных данных.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Анализ известных публикаций показал, что машинное обучение в настоящее время эффективно применяется для решения ряда специфических задач медицины, таких как разработка и поиск новых лекарств; помощь в постановке диагноза; прогнозирование развития различных заболеваний; помощь в лучевой диагностике и в проведении операций; персонализация лечения; прогнозирование заболеваемости и смертности в регионе; снижение издержек медицинских организаций в медицинской реабилитации, а также в осуществлении удаленного контроля параметров здоровья и др. [6–16].

Машинное обучение все глубже проникает в различные сферы жизни и отрасли экономики посредством пользовательских и бизнес-продуктов, созданных с помощью методов ИИ. Так, робот-хирург *da Vinci* (рис. 1), применяемый в том числе и в России, может помочь хирургу-человеку в проведении операции: напомнить план операции, стабилизировать движения рук, увеличить цветокоррекцию операционного поля. Робот не позволяет специалисту проводить заведомо неверные манипуляции [6].

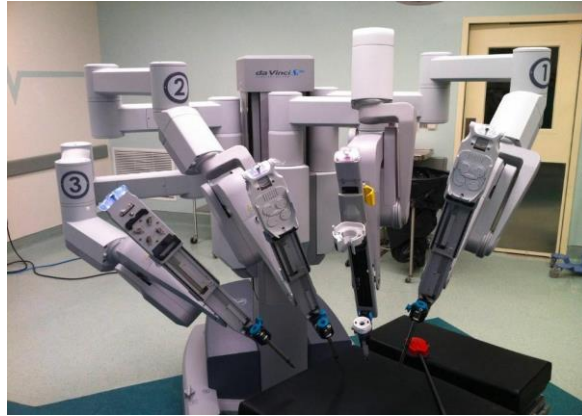


Рис. 1. Внешний вид робота-хирурга da Vinci

Благодаря адаптивному характеру машинного обучения оно наиболее эффективно для сценариев, в которых данные постоянно изменяются, свойства запросов или задач нестабильны. Такое обучение помогает, когда написать код для решения задачи фактически невозможно.

Наибольшее распространение на практике получил метод машинного обучения, основанный на использовании нейронных сетей – математических моделей, построенных по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей. Преимущество указанных сетей состоит в том, что они не программируются в привычном смысле этого слова, а обучаются.

**Персонализация лечения.** Одним из направлений машинного обучения является персонализация лечения, которая заключается в реализации диагностических тестов для выявления специфических биологических (генетических, молекулярных) маркеров, помогающих врачу выбрать оптимальную терапию для данного конкретного пациента. Существует множество приложений, способных при помощи методов машинного обучения подбирать наилучшее лечение для пациента.

DeepSinergy – одно из таких приложений; оно было разработано Кристиной Пройер с коллегами. Это приложение предсказывает синергетические комбинации лекарств для лечения онкологических заболеваний за счет изучения химических свойств лекарств и профилей экспрессии генов определенных линий раковых клеток, то есть, исходя из данных о конкретном пациенте и доступных для использования лекарствах, подбирает наилучшее сочетание дозировок нескольких противоопухолевых препаратов (рис. 2) [7].

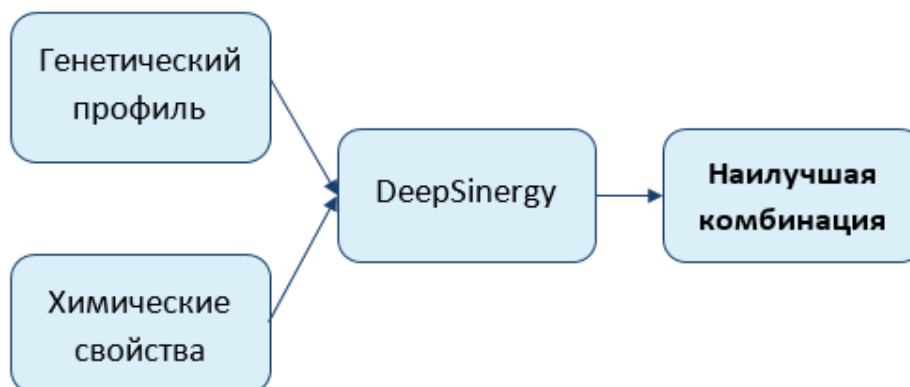


Рис. 2. Метод машинного обучения, позволяющий персонализировать лечение

**Поиск лекарств.** Другим направлением машинного обучения является поиск лекарств (англ. Drug Discovery, Drug Design). Процесс поиска новых лекарственных средств часто основывается на знаниях о биологической мишени (целевом белке, с которым должно взаимодействовать лекарственное вещество). Суть данного подхода можно описать так: программа, использующая методы машинного обучения, генерирует различные молекулярные структуры в формате SMILES-строки, то есть в буквенно-цифровом виде (это делает модуль-генератор), а потом проверяет, действительно ли их можно считать лекарством и насколько сложно их синтезировать (это делает модуль-дискриминатор, который пытается отличить сгенерированную SMILES от такой, которая может существовать в реальном мире). Дискриминатор обычно устанавливает схожесть с лекарственными средствами (по набору физических свойств, таких как растворимость, гидрофильность, липофильность) и синтезируемость молекулы с данной SMILES-строкой (по валентностям атомов, кратности связей, заряду молекулы и др.) (рис. 3) [8]. Отметим, что именно с помощью этой методики исследователи из Массачусетского технологического института в 2019 г. открыли самый сильный на данный момент антибиотик – халицин [9].



Рис. 3. Метод машинного обучения при разработке лекарств

Во время поиска и разработки новых лекарственных средств часто прибегают к помощи машинного обучения в таких задачах, как предсказание молекулярных свойств потенциальной молекулы лекарства, формы какого-либо белка, активности взаимодействия между веществами [8].

Для кодирования молекулярной структуры существует специальная нотация SMILES – система правил для однозначного описания состава и структуры молекулы химического вещества в буквенно-цифровом виде. Для генерации молекулярных структур используют генеративные состязательные сети [10].

**Снижение издержек медицинских организаций.** Следующим направлением машинного обучения в здравоохранении является снижение издержек медицинских организаций. Так, чат-боты и голосовые ассистенты уже сегодня могут записать человека на прием к врачу в некоторых клиниках Тверского региона. Это снижает потребность клиник в медицинских регистраторах и позволяет высвободить средства на удовлетворение иных потребностей медицинской организации. Такая система, как IBM Watson, может, помимо всего прочего, следить за наличием остатков расходных материалов и лекарств. Схема использования метода машинного обучения в снижении издержек медицинских организаций показана на рис. 4. Одновременно, как видно на схеме, прогнозируется потребность клиники в лекарствах на месяцы вперед, что не дает организации покупать больше, чем нужно. За счет этого также уменьшаются издержки.



Рис. 4. Метод машинного обучения для снижения издержек медицинских организаций

**Лучевая диагностика.** Машинное обучение все чаще применяют для решения задач лучевой диагностики. Программа создает изображение в ходе рентгенологического или ультразвукового исследования пациента в виде компьютерного кода и по нему прогнозирует наличие патологии. Если требуется, программа делает ее локализацию [9]. Российская программа Diagnocat – хороший пример подобной модели. Указанная программа анализирует дентальные рентгеновские снимки, отмечает на них вероятные болезни челюстно-лицевой области, например периодонтит (рис. 5). После внедрения данной программы в московских клиниках «Дентал Фэнтези» и Belgravia Dental Studio (которые посетили, согласно данным за 2019–2020 гг., более 20 000 человек) в среднем у пациентов было обнаружено на 30 % больше патологий челюстно-лицевой области по сравнению с теми, кто не был проанализирован данной программой [12–14]. Кроме того, отмечается высокая эффективность в визуализации структуры молочной железы. Автоматизированная система ИИ осуществляет оценку плотности груди для стратификации риска [15].

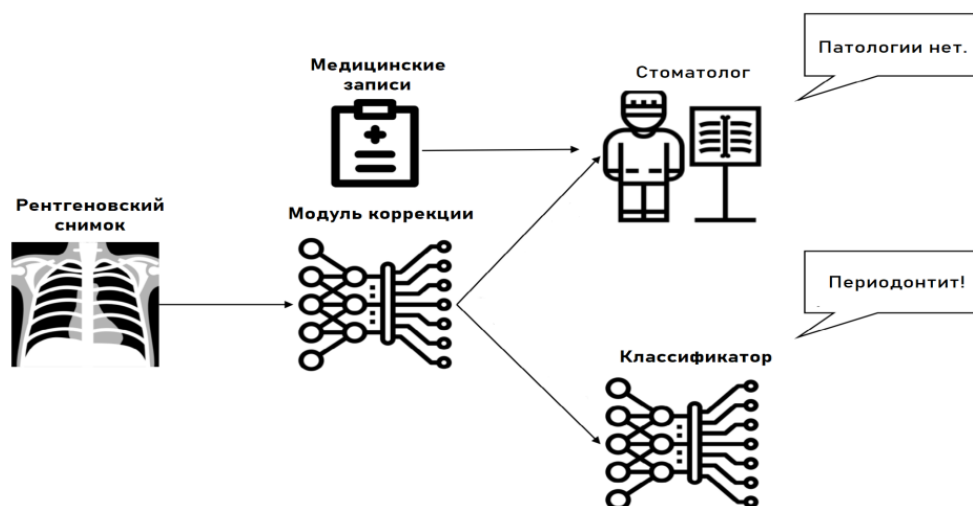


Рис. 5. Метод машинного обучения для решения задач лучевой диагностики

**Сокращение угроз пандемий.** Группой исследователей из Карелии при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ была создана для прогнозирования пандемии модель краткосрочного прогнозирования числа зараженных и умерших от COVID-19 на период до 14 дней. Оценка ее точности с учетом ошибки предсказания составляет от 2,3 до 24 % для 85 регионов России. При этом модель показывает меньшую ошибку для регионов с большой численностью

населения. Она может быть использована не только для предсказания пандемии названной выше коронавирусной инфекции, но и для контроля и оценки распространения новых инфекционных заболеваний на этапе их возникновения, пике заболеваемости и в период стабилизации [16].

Кроме того, в Тверском регионе на базе ФГБОУ ВО «Тверской ГМУ» апробирован алгоритм дистанционного мониторинга различных проявлений постковидного синдрома. При помощи технологии ИИ формируются модели пациентов разных клинических направлений (кардиологии, неврологии, эндокринологии и др.) с организацией динамического мониторинга их состояния.

Экспертные оценки и практика применения машинного обучения показывают, что технология, кроме полезных функций в сфере здравоохранения, обладает рядом недостатков, причины возникновения которых требуют специального исследования и достаточной статистики испытаний. В отдельных случаях такая технология способна создавать реальные угрозы жизни и здоровью человека (например, при ее криминальном использовании): технически реально создать с помощью машинного обучения вещества или патогены, являющиеся опасными для одной этнической группы и относительно безопасными для другой, поскольку определенным этносам присущи генетически детерминированные признаки (отсутствие какого-либо фермента и т. д.), не характерные для прочих народов. Как сообщил начальник войск радиационной, химической и биологической защиты Вооруженных Сил России И. Кириллов, «американские биологические лаборатории на Украине могли использоваться для создания биоагентов, способных избирательно поражать этнические группы», что подтверждает реальность описанной угрозы [17].

К недостаткам метода машинного обучения медицине, судя по результатам анализа опубликованных в литературе данных [6–16], можно отнести следующие. Во-первых, необходимость предварительной специальной обработки исходных данных для применения технологии машинного обучения в медицине и трудности анализа полученных результатов. Так, сведения в медицинских картах часто являются неполными и написаны не по единому стандарту. Запись во многих случаях связана с привычками конкретного врача. Кроме этого, необходимо учесть тот факт, что врач при принятии решений часто анализирует в комплексе различные типы информации (графическую со снимков, аудиальную с фонендоскопа, цифровую с анализов и т. п.) и синтезирует новую клиническую информацию – диагноз, прогноз, план лечения и т. д. Отдельная обученная модель неспособна обрабатывать комплексную информацию. Для этого ее нужно интегрировать с другими моделями, что не является тривиальной задачей. В настоящее время невозможно также четко понять логику принятия решений многими программами (то есть с точки зрения человека), так как они «мыслят» не как люди, а всего лишь находят математические закономерности в исходных данных. Во-вторых, при реализации технологии машинного обучения возникают проблемы пере- и недообучения. Поэтому специалисты вынуждены подбирать необходимое количество итераций обучения машины эмпирическим путем. Отсутствие единых стандартов в сфере машинного обучения обуславливает факт низкой воспроизводимости медицинских исследований. Так, в одной и той же модели из-за отличий в форматах сохранения рентгеновских снимков (сделанных на аналогичных аппаратах разных производителей) может снизиться эффективность их анализа. В то же время для врача-рентгенолога это не является проблемой. В-третьих, возможно возникновение проблем этического характера. Нивелируются ценность и роль врача как профессионала. Становится неясным, кто несет ответственность за ошибки в лечении и диагностике при использовании методов машинного обучения. К недостаткам применения машинного обучения в медицине, по мнению врачей, можно отнести снижение

качества межличностного контакта «врач – пациент». Такая ситуация может уменьшить комфорт лечения для пациента. По сути, происходит дегуманизация лечения человека: больной низводится до набора цифр и графиков [15].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований и поставленной цели получены основные результаты анализа актуальных направлений применения машинного обучения для повышения качества предоставления услуг в сфере медицины и здравоохранения.

Наиболее динамично при помощи методов машинного обучения развивается ряд направлений в здравоохранении, обладающий высоким практическим эффектом:

персонализация лечения, позволяющая предсказывать синергетические комбинации лекарств для лечения онкологических заболеваний, способствующая изучению химических свойств лекарств и профилей экспрессии генов определенных линий канцероцитов;

поиск новых лекарственных средств на основе знаний о биологической мишени – целевом белке, с которым должно взаимодействовать лекарственное вещество;

снижение издержек медицинских организаций за счет автоматического непрерывного мониторинга расходования лекарственных веществ и прогнозирования потребностей лечебного учреждения в новых на заданный период времени;

лучевая диагностика с применением в комплексе технологий компьютерного зрения и машинного обучения, что позволяет диагностировать более чем на 30 % больше патологий по сравнению с традиционным подходом;

создание нейросетевых моделей развития массовых инфекционных заболеваний для сокращения угроз пандемий. Оценка ее точности с учетом ошибки предсказания составляет от 2,3 до 24 % для 85 регионов России. Практика применения модели показывает, что она может быть использована не только для предсказания пандемии, вызванной коронавирусной инфекцией, но и для контроля и оценки распространения новых инфекционных заболеваний на этапе их возникновения, пике заболеваемости и в период стабилизации.

Метод машинного обучения в сфере здравоохранения имеет ряд недостатков, связанных прежде всего с низкой адаптацией к неавтоматизированной части медицины и пока малым опытом, статистикой практического использования. Так, возможно возникновение целого ряда этических и юридических вопросов, ответы на которые еще предстоит найти. Отсутствие единых стандартов в сфере машинного обучения порождает низкую повторяемость результатов медицинских исследований. Минимизируется межличностный контакт между врачом и пациентом, как следствие, возникает дегуманизация личности пациента (представление его в виде набора цифр и графиков). Есть вероятность криминального использования машинного обучения в медицине для синтеза опасных патогенов.

В рамках одной статьи не представляется возможным охватить все аспекты использования ИИ в здравоохранении. В дальнейших исследованиях целесообразно рассмотреть другие технологии (например, компьютерное зрение), а также особенности преподавания темы ИИ в медицинском вузе, анализ практики внедрения данной перспективной технологии в систему здравоохранения Тверского региона.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года: Указ Президента Рос. Федерации от 10.10.2019 № 490 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sudact.ru/law/ukaz-prezidenta-rf-ot-10102019-n-490/natsionalnaia-strategiia-razvitiia-iskusstvennogo-intellekta/> (дата обращения: 20.06.2022).
2. Mitchell T. *Machine Learning*, McGraw Hill. 1997. 432 p.
3. Sarker I.H. Machine learning: Algorithms, real-world applications and research directions // *SN Computer Science*. 2021. V. 2. № 3. P. 1–21.
4. Аль-Шукри С. Х., Мосоян М.С., Семенов Д.Ю., Ильин Д.М. Опыт 424 робот-ассистированных вмешательств в Санкт-Петербурге: радикальная простатэктомия, резекция почки и нефрэктомия // *Вестник хирургии имени И.И. Грекова*. 2016. Т. 175. № 5. С. 74–77.
5. Preuer K., Lewis R.P., Hochreiter S., Bender A., Bulusu K.C., Klambauer G. DeepSynergy: Predicting Anti-cancer Drug Synergy with Deep Learning // *Bioinformatics*. 2018. V. 34. № 9. P. 1538–1546.
6. Bagchi A. Latest Trends in Structure-based Drug Design with Protein Targets // *Advances in Protein Chemistry and Structural Biology*. 2020. V. 121. P. 1–23.
7. Hirohara M., Saito Y., Koda Y., Sato K., Sakakibara Y. Convolutional Neural Network Based on SMILES Representation of Compounds for Detecting Chemical Motif // *BMC bioinformatics*. 2018. V. 19. № 19. P. 83–94.
8. Stokes J.M., Yang K., Swanson K., Jin W., Cubillos-Ruiz A., Donghia N.M., Collins J.J. A Deep Learning Approach to Antibiotic Discovery // *Cell*. 2020. V. 180. № 4. P. 688–702.
9. Dilmegani C. Top 6 Use Cases & Examples of Chatbots in Healthcare. URL: <https://research.aimultiple.com/chatbot-healthcare/> (дата обращения: 20.06.2022).
10. Ghassemi M., Naumann T., Schulam P., Beam A.L., Chen I.Y., Ranganath R.A. Review of Challenges and Opportunities in Machine Learning for Health // *AMIA Summits on Translational Science Proceedings*. 2020. V. 2020. P. 191.
11. Nichols J.A., Herbert Chan H.W., Baker M.A.B. Machine Learning: Applications of Artificial Intelligence to Imaging and Diagnosis // *Biophysical reviews*. 2019. V. 11. № 1. P. 111–118.
12. Diagnocat – виртуальный помощник стоматолога для планирования лечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://diagnocat.ru/> (дата обращения: 20.06.2022).
13. Гаврилов Д.В., Абрамов Р.В., Кирилкина А.В., Ившин А.А., Новицкий Р.Э. Модель прогнозирования пандемии COVID-19 на основе машинного обучения в отдельных регионах Российской Федерации // *Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология*. 2021. Т. 14. № 3. С. 342–356.
14. Arieno A., Chan A., Destounis S.V. A Review of the Role of Augmented Intelligence in Breast Imaging: From Automated Breast Density Assessment to Risk Stratification // *American Journal of Roentgenology*. 2019. V. 212. № 2. P. 259–270.
15. Выродова Ю. Минобороны допустило разработку в США биоагентов против этнических групп. URL: <https://www.rbc.ru/politics/10/03/2022/6229fbb79a79476fc45f58ad> (дата обращения: 20.06.2022).
16. Знакомство с машинным обучением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.ru/about/main/machine-learning-qa/> (дата обращения: 20.06.2022).

**Для цитирования:** Чирков Р.Н., Бахарева О.Н., Лопина Н.П., Бордина Г.Е., Паршин Г.С. Актуальные направления применения машинного обучения в здравоохранении // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2023. № 1 (17). С. 70–79.

## CURRENT AREAS OF APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN HEALTH CARE

R.N. CHIRKOV, Dr. Sc., O.N. BACHAREVA, Cand. Sc., N.P. LOPINA, Cand. Sc.,  
G.E. BORDINA, Cand. Sc., G.S. PARSHIN, Stud.

Tver State Medical University,  
4, Sovetskaya str., Tver, 170100, Russian Federation, e-mail: nadezhda\_lopina@mail.ru

This work is devoted to the analysis of the most important areas for improving the quality of medicine and the level of health care of the areas of application of so-called machine learning. In the healthcare industry, machine learning is actively used to solve a number of industry problems, from drug development to predicting human diseases. It should be noted the main feature of the implementation of this technology in medicine, associated with a wide range of possible practical applications.

*Keywords:* machine learning, medicine, healthcare.

Поступила в редакцию/received: 05.07.2022; после рецензирования/revised: 14.09.2022;  
принята/accepted: 24.10.2022

УДК 004.94

### О МОДЕЛИРОВАНИИ ПЕРЕХОДНЫХ СОСТОЯНИЙ ОРГАНИЗМА\*

Б.А. КОБРИНСКИЙ, д-р мед. наук

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН,  
119333, Москва, ул. Вавилова, 44, корп. 2, e-mail: kba\_05@mail.ru

© Кобринский Б.А., 2023

Целью построения динамической математической модели является анализ во времени переходных патологических состояний организма и оценка эффективности протекторных воздействий профилактического характера. Квазиконтинуум переходных состояний организма рассматривается как случайный процесс с дискретными состояниями. Скачкообразные, качественные изменения здоровья сопоставимы с процессом с фазовыми переходами. Эволюция системы заключается в переходе от нормы к патологии, за исключением случаев, когда под воздействием протекторов возможен регресс патологического процесса. Создание модели переходных состояний здоровья – цифрового двойника человека – отвечает цели управления персональным здоровьем путем предупреждения или отсроченного проявления болезней на базе направленных контрвоздействий на определенные модифицируемые факторы риска развития патологических процессов.

*Ключевые слова:* квазиконтинуум переходных состояний здоровья, теория случайных процессов, фазовое пространство, предикторы, протекторы.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2023-1-79-86**

\* Материалы были представлены на научном семинаре «Золотовские чтения», посвященном 100-летию со дня рождения выдающегося российского математика, академика АН СССР Золотова Евгения Васильевича (6–7 октября 2022, Тверь, Тверской государственный технический университет).