

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ В ЭНДОСКОПИИ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА

В. В. Хрящев

Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова, Ярославль, Россия
v.khryashchev@uniyar.ac.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Рассматривается задача построения системы поддержки принятия врачебного решения для эндоскопических исследований желудочно-кишечного тракта на основе нейросетевых методов и алгоритмов анализа видеоданных. Для ее решения предлагается структура системы искусственного интеллекта, работающая с учетом специфики видеоэндоскопических исследований. *Материалы и методы.* Для построения системы используются методы глубокого машинного обучения. В качестве ядра для ключевых алгоритмов обработки видеопотока используются нейросетевые архитектуры семейства YOLO, а также трансформерные архитектуры. *Результаты и выводы.* Для исследований желудочно-кишечного тракта на основе анализа эндоскопических видеопоследовательностей, а также современных нейросетевых методов и алгоритмов предложена концепция построения системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР). На базе двух медицинских учреждений проведена ее опытная эксплуатация. Установлено, что разработанную на основе предложенной концепции СППВР можно использовать во время проведения эндоскопического обследования пациентов. Кроме того, данная система оказалась достаточно эффективной при мониторинге скринингового исследования в части контроля качества его проведения, выполненного по записи результатов в медико-информационную систему учреждения здравоохранения.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, эндоскопия, глубокое машинное обучение, клиническое исследование, скрининговое исследование

Для цитирования: Хрящев В. В. Концепция построения системы поддержки принятия врачебных решений в эндоскопии желудочно-кишечного тракта // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2025. № 2. С. 137–144. doi: 10.21685/2307-5538-2025-2-16

CONCEPT FOR A CLINICAL DECISION SUPPORT SYSTEM IN GASTROINTESTINAL ENDOSCOPY

V.V. Khryashchev

P.G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia
v.khryashchev@uniyar.ac.ru

Abstract. *Background.* The article considers the problem of constructing a system for supporting medical decision-making for endoscopic examinations of the gastrointestinal tract based on neural network methods and video data analysis algorithms. To solve this problem, the structure of an artificial intelligence system is proposed that takes into account the specifics of video endoscopic examinations. *Materials and methods.* Deep machine learning methods are used to construct the system. Neural network architectures of the YOLO family, as well as transform architectures, are used as the core for key algorithms for processing the video stream. *Results and conclusions.* The concept of constructing a system for supporting medical decision-making is proposed. A trial operation of the system was carried out in two medical institutions. Studies have shown that the system can be used both directly during an endoscopic examination and for quality control of a screening study after it has been conducted and for recording the results in a medical information system.

Keywords: decision support system, endoscopy, deep machine learning, clinical test, screening test

For citation: Khryashchev V.V. Concept for a clinical decision support system in gastrointestinal endoscopy. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2025;(2):137–144. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2025-2-16

Введение

Действия человека в любой сфере жизнедеятельности являются результатом процессов принятия соответствующих управленческих решений. Учитывая необходимость принятия подходящего решения в надлежащее время, наличие системы, обеспечивающей помощь в принятии таких решений, имеет большую ценность. Соответствующая система поддержки принятия решений (СППР) представляет собой информационную систему, которая поддерживает деятельность организаций, предприятий или физических лиц с учетом поставленных временных ограничений. Такие СППР обычно предсказывают будущие ситуации, условия или состояния на основе уже имеющихся данных [1–3].

Одной из важных областей применения таких информационных систем являются системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) [4–8]. Любой алгоритм, имеющий дело с цифровыми клиническими данными или знаниями, предназначен для поддержки принятия соответствующих решений. Рассматриваемые СППВР являются широко распространенным случаем применения технологий искусственного интеллекта в государственных и частных заведениях здравоохранения. Подобные системы также могут быть интегрированы в телемедицинскую практику.

В настоящее время СППВР нашли применение в следующих медицинских сферах [5, 6]:

- профилактические процедуры (подбор мер по повышению иммунитета пациента, направление его на диагностические процедуры);
- дифференциальная диагностика;
- назначение лечения (подбор необходимых лекарственных средств и лечебных процедур в соответствии с данными о пациенте, помощь в наблюдении за пациентом в процессе лечения);
- наблюдение за пациентом по окончании лечения (выявление результативности оказанных медицинских услуг, уведомление об ухудшении здоровья пациента).

Проведен анализ существующих подходов к построению СППВР в клинической практике и для скрининговых исследований [5]. Он показывает, что потенциальные преимущества использования цифровых СППВР заключаются в следующих факторах [6]:

- повышение безопасности пациентов (уменьшение ошибок при их осмотре, диагностике, назначении лечения);
- повышение качества медицинской помощи (использование последних клинических результатов);
- повышение эффективности медицинской помощи (снижение затрат за счет оптимизации процедур медицинской диагностики).

Существует также класс СППВР, предназначенных для обработки медицинских изображений и видеоданных [9]. К ним относятся системы обнаружения и классификации патологических областей на гистологических изображениях, на КТ- и МРТ-снимках, на видеоданных, полученных в ходе проведения эндоскопических исследований. Основная проблема подобных систем заключается в трудности их использования специалистами в режиме реального времени ввиду высокой вычислительной сложности соответствующих цифровых задач. Тем не менее считается, что данная область разработки СППВР является наиболее востребованной, перспективной и быстроразвивающейся во всем мире [3, 4].

На данный момент одной из перспективных областей для внедрения средств частичной автоматизации анализа медицинских видеоданных является эндоскопическая диагностика, в ходе которой специалисту требуется обнаружить патологии на слизистой оболочке желудка или кишечника путем анализа видеоданных, передаваемых с эндоскопа на экран монитора [10]. При ее проведении пациенту вводится видеоэндоскоп – высокотехнологичный многофункциональный инструмент, позволяющий не только производить малоинвазивный осмотр и диагностику ЖКТ, но и осуществлять взятие биологического материала (биопсию) для гистологического анализа из образцов тканей, подозрительных на наличие неоплазии. При этом изображение, получаемое при проведении исследования, выводится на монитор, расположенный перед врачом-эндоскопистом. Кроме того, видеоданные могут параллельно транслироваться на экран удаленному специалисту. Большинство современных эндоскопических систем поддерживает возможность формирования видеоданных высокого разрешения (Full HD, 4K), обеспечивающих возможность качественного осмотра органов ЖКТ [11, 12].

Таким образом, критический анализ области цифровой эндоскопии ЖКТ показывает, что использование СППВР потенциально позволяет снизить временные и финансовые расходы на проведение исследований, повышает точность и эффективность диагностических процедур, облегчает и расширяет процесс обучения начинающих специалистов в этой высокотехнологичной и сложной области диагностики.

Целью работы является разработка и опытная апробация концепции построения СППВР для эндоскопических исследований ЖКТ.

Разработка структуры СППВР на базе нейронной сети

Существует несколько основных механизмов рассуждения, которые могут быть положены в основу СППВР [1, 2, 13]:

- **системы на основе правил.** Система, основанная на правилах, использует различные базы знаний экспертов в форме выражений, которые можно оценивать как правила ЕСЛИ-ТО (жесткие правила);

- **байесовская сеть.** Она является типичной системой принятия решений, основанной на знаниях, которая показывает вероятностные отношения между наборами переменных – например заболеваний и симптомов на основе условной вероятности, согласно теореме Байеса. Такая сеть помогает моделировать прогресс заболевания во времени и различные виды взаимодействий. Препятствием к ее использованию является то, что в медицине иногда трудно напрямую определить, что является следствием, а что – причиной;

- **модельные системы.** При использовании такого механизма происходит моделирование цифровой системы под каждого отдельного пациента;

- **машинное обучение.** Эти методы основаны на вероятностном принятии решений в соответствии с имеющейся базой данных системы. Такие базы должны быть большими и хорошо структурированными для обеспечения поиска оптимального набора параметров, имевшихся в истории и похожих на клиническую картину текущего исследуемого пациента;

- **генетический алгоритм.** Он не основан на знаниях, а использует итерационные процессы для адаптации и обеспечения оптимального решения на основе имеющихся данных о пациенте;

- **нейронные сети.** Они являются наиболее широко признанными из типов систем, способных учиться на примерах, и в современной медицинской литературе регулярно публикуются отчеты об их использовании в различных областях [13, 14]. На современном этапе развития именно их чаще всего выбирают в качестве механизма рассуждений.

В данной работе рассматривается класс систем, основанный на методах глубокого машинного обучения, ядром которых являются обучаемые нейросетевые модели. Предоставляемая поддержка принятия решений основана на процессах сложной оценки результатов и алгоритмах искусственного интеллекта, использующих базы размеченных данных (рис. 1). Важным фактором является также интеграция нейросетевых СППВР в рабочие процессы (РП) медицинских специалистов.



Рис. 1. Структура СППВР с ядром на основе нейронной сети

Существующим ограничением нейросетевого подхода является то, что, в отличие от других рассматриваемых систем, «правила», используемые сетью, не следуют определенной логике и в большинстве случаев не являются полностью понятными для специалистов. В этом смысле нейронная сеть ведет себя как «черный ящик», что в определенной степени тормозит проникновение таких технологий в медицинскую практику. Для решения этой проблемы разрабатывается отдельный класс интерпретируемых нейронных сетей.

Другая проблема с использованием нейронных сетей связана с необходимостью сбора и экспертной разметки огромных баз медицинских данных, которые часто недоступны, а в большинстве случаев и вовсе не существуют. В связи с этим возникает необходимость поиска подходов к построению робастных нейросетевых моделей на базах данных относительно малого размера. Зачастую эта проблема может быть решена путем предобучения используемой нейросетевой модели на изображениях других, в том числе немедицинских объектов. Кроме того, имеющиеся для обучения данные могут быть размножены (аугментированы) путем различных математических преобразований.

Для обработки видеоизображений в составе СППВР чаще всего применяются нейросетевые алгоритмы детектирования, сегментации и классификации объектов. Для них используются типовые метрики для оценки качества подобного класса алгоритмов, такие как точность (Precision, P), полнота или чувствительность (Recall, R) и средняя точность (Average Precision):

$$P = \frac{TP}{TP + FP}, R = \frac{TP}{TP + FN}, AP = \frac{\sum_{r=1}^N P_r}{N}, \quad (1)$$

где TP – число истинно положительных результатов; FP – число ложноположительных результатов; FN – число ложноотрицательных результатов; P_r – значение точности, соответствующее определенному значению полноты r ; N – множество различных значений полноты. Дополнительно используется метрика среднего гармонического точности и полноты ($F1$):

$$F1 = 2 \cdot \frac{P \cdot R}{P + R} = \frac{2TP}{2TP + FP + FN}. \quad (2)$$

Даже для специалистов высокого уровня существует риск пропуска особо значимых областей во время эндоскопического анализа и, как следствие, принятие неверного решения при постановке диагноза пациенту. Внедрение СППВР при интерпретации видеоданных, полученных с видеоэндоскопа, позволяет повысить эффективность и точность проводимой диагностики, снизить количество пропусков патологий, дать врачу дополнительную уверенность качественно принимаемых им решений.

Описание концепции построения СППВР в эндоскопии

Разработанная концепция построения СППВР в эндоскопии на основе алгоритмов компьютерного зрения и методов искусственного интеллекта в условиях практической ограниченности входного набора аннотированных видеоизображений приведена на рис. 2.

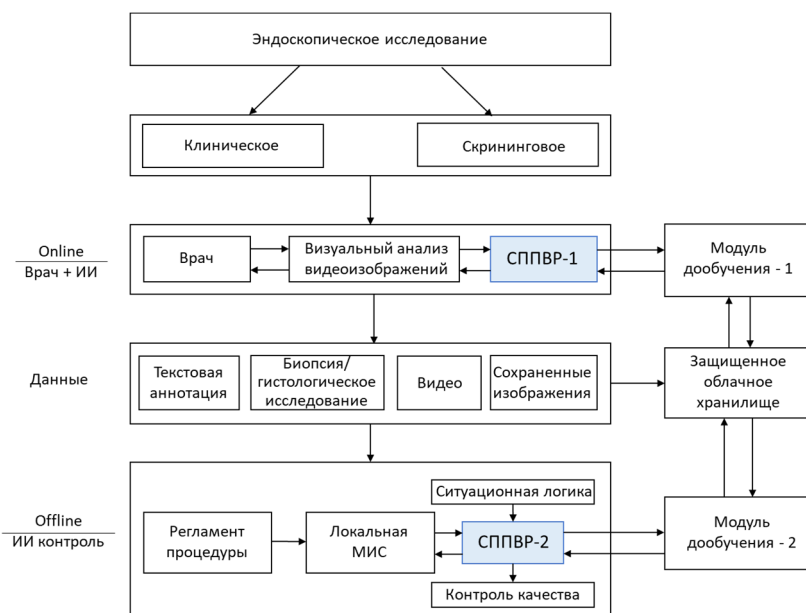


Рис. 2. Концепция построения СППВР в эндоскопии

При ее реализации аппаратная эндоскопическая стойка соединяется с высокопроизводительным сервером, оснащенный картой видеозахвата. В нем же происходит взаимодействие врача с первой СППВР-1, работающей в режиме реального времени. Подсказки врачу выводятся на мониторе в виде обведенных (раскрашенных) областей либо с помощью звуковых подсказок, фокусирующих внимание врача. В процессе исследования сохраняется его полное видео, а также набор статических изображений (кадров) по выбору врача, отражающих значимые области интереса. Они загружаются в используемую медико-информационную систему (МИС) и взаимодействуют со второй СППВР-2, работающей в режиме офлайн и позволяющей аннотировать проведенное исследование, проводить контроль качества процедуры, отбирать изображения с соответствующими областями интереса и др.

Система контроля качества работает на основе регламента соответствующей процедуры, что особенно актуально для проведения массовых скрининговых исследований. В процессе работы СППВР-1 и СППВР-2 накапливают данные в защищенном облачном хранилище, в котором проводится дообучение нейросетевых моделей, улучшающее параметры их работы с учетом накопленного опыта. Важными этапами разработки эндоскопической СППВР являются сбор и разметка визуальных данных, а также обучение нейронной сети (рис. 3).

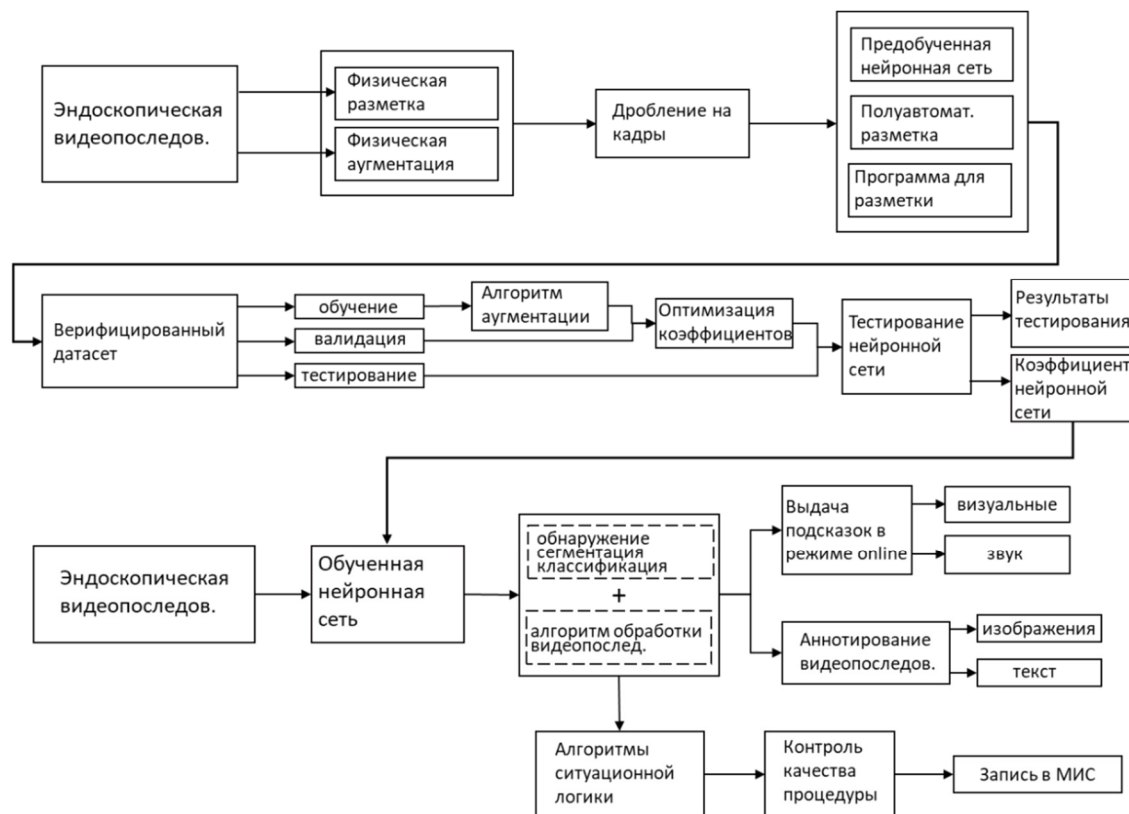


Рис. 3. Этапы построения системы ИИ для СППВР в эндоскопии

На этом этапе с учетом специфики задачи применены два новшества. Первое состоит в устройстве «физической разметки данных», выполненном в форм-факторе педалей. Это обусловлено занятостью рук врача-эндоскописта во время проведения процедуры.

Второе новшество состоит в блоке «физической аугментации» и поясняется на рис. 4. Логика его работы заключается в дополнительной по времени, ракурсу, оптическому увеличению фиксации области интереса во время проведения исследования, что позволяет более эффективно наполнять соответствующие базы видеоизображений.

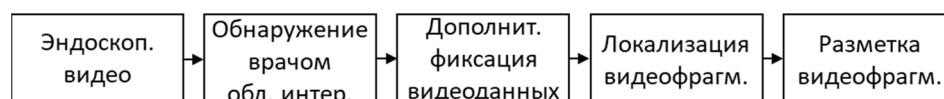


Рис. 4. Последовательность действий при реализации блока «физической аугментации» на этапе сбора и разметки визуальных данных

Для обучения и тестирования нейросетевых моделей требуется создание больших баз изображений. Обычно они создаются из видеопоследовательностей эндоскопических исследований. Самым затратным по времени этапом при их создании является разметка, которую в идеале должны выполнять врачи экспертного уровня. Чтобы значительно сократить эти затраты, предложена методика полуавтоматической разметки эндоскопических изображений с целью выделения на них соответствующих областей интереса. Структурная схема предложенной методики приведена на рис. 5.



Рис. 5. Этапы процедуры полуавтоматической разметки изображений

После аппаратной разметки эндоскопического видеоизображения с помощью педали выполняется локализация видеофрагментов и разбиение их на отдельные кадры. Далее реализуется автоматическая разметка этих кадров нейросетевым алгоритмом, обученным на предыдущих этапах исследования. Последующую доработку полученной алгоритмом разметки выполняет разметчик, являющийся специалистом по цифровой обработке изображений, а итоговую валидацию осуществляет врач-эндоскопист.

Установлено, что для разметки большого количества эндоскопических видеопоследовательностей можно применять разработанную методику итеративно. В этом случае на каждой итерации размечается часть данных, а алгоритм дообучается на новых данных. Это приводит к тому, что следующая итерация требует уже меньших трудозатрат, поскольку качество автоматической разметки возрастает.

В ФГБУ «НМХЦ им. Н. И. Пирогова» Минздрава России выполнена опытная эксплуатация разработанной системы. Она показала, что при использовании указанной методики трудозатраты при создании больших размеченных баз изображений уменьшаются на 35–45 % [15–17]. Они рассчитывались в человеко-часах, при этом учитывалась разная квалификация привлекаемого персонала. Кроме того, с применением разработанной методики выполнена разметка видеоэндоскопических фрагментов с целью формирования тестового набора изображений из реальной клинической практики указанной организации здравоохранения.

Заключение

Таким образом, предложена концепция построения СППВР в эндоскопии на основе методов и алгоритмов искусственного интеллекта. Проводилась ее опытная эксплуатация в различных задачах эндоскопического исследования ЖКТ. Результаты опытной эксплуатации предложенных СППВР в эндоскопическом отделении Ярославской областной клинической онкологической больницы и Пироговском центре показали, что система может быть использована как непосредственно во время эндоскопического исследования, так и для контроля качества исследования после его проведения и записи результатов в медико-информационную систему, что особенно важно для скрининговых эндоскопических исследований ЖКТ.

Список литературы

1. Демидова Л. А., Титов С. Б. Гибридные алгоритмы анализа и обработки данных в задачах интеллектуальной поддержки принятия решений. М. : Горячая линия – Телеком, 2017.
2. Рамеев О. А. Основы теории принятия решений в организационных системах управления. М. : Горячая линия – Телеком, 2023.
3. Khodashahri N. G., Sarabi M. M. H. Decision support system (DSS) // Singaporean Journal of Business Economics and Management Studies. 2013. Vol. 1, № 6. P. 95–102.
4. Dinevski D., Sarenac T., Bele U. Clinical Decision Support Systems // Telemedicine Techniques and Applications. 2011. № 1. P. 185–210.

5. Кирсанова А. В. Современное состояние и перспективы развития экспертных медицинских систем // Новый университет. Сер.: Технические науки. 2015. № 11. С. 45–46.
6. Фролова М. С., Фролов С. В., Толстухин И. А. Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой // Университет им. В. И. Вернадского. Специальный выпуск. 2014. № 52. С. 106–111.
7. Лудупова Е. Ю. Врачебные ошибки. Литературный обзор // Вестник Росздравнадзора. 2016. № 2. С. 6–15.
8. Варданыан Г. Д., Аветисян Г. А., Джаноян Г. Дж. Врачебные ошибки: современное состояние проблемы // Медицинская наука Армении НАН РА. 2019. № 4. С. 105–119.
9. Авшаров Е. М., Абгарян М. Г., Сафарянц С. А. Обработка медицинских изображений как необходимый инструментальный медицинский диагностический процесс // Вестник рентгенологии и радиологии. 2010. № 3. С. 54–61.
10. Палевская С. А., Короткевич А. Г. Эндоскопия желудочно-кишечного тракта. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2020. 752 с.
11. Куваев Р. О., Никонов Е. Л., Кашин С. В. [и др.]. Контроль качества эндоскопических исследований, перспективы автоматизированного анализа эндоскопических изображений // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2013. Т. 2. С. 51–56.
12. Кашин С. В., Никонов Е. Л., Нехайкова Н. В., Лилеев Д. В. Стандарты качественной колоноскопии (пособие для врачей) // Доказательная гастроэнтерология. 2019. № 8. С. 3–32.
13. Николенко С. И. Машинное обучение: основы. СПб. : Питер, 2025. 608 с.
14. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение. М. : ДМК-Пресс, 2017. 652 с.
15. Хрящев В. В., Завьялов Д. В., Андержанова А. С. Классификация эндоскопических изображений устья червеобразного отростка на основе методов глубокого машинного обучения // Цифровая обработка сигналов. 2023. № 1. С. 35–38.
16. Хрящев В. В. Использование методов глубокого машинного обучения в задаче обнаружения купола слепой кишки на видеоданных колоноскопического исследования // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2023. № 4. С. 133–141.
17. Хрящев В. В. Сегментация изображений полипов при колоноскопическом исследовании с использованием нейронных сетей // Биомедицинская радиоэлектроника. 2023. Т. 26, № 4. С. 66–72.

References

1. Demidova L.A., Titov S.B. *Gibridnye algoritmy analiza i obrabotki dannykh v zadachakh intellektual'noy podderzhki prinyatiya resheniy = Hybrid algorithms for data analysis and processing in intellectual decision support tasks*. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2017. (In Russ.)
2. Rameev O.A. *Osnovy teorii prinyatiya resheniy v organizatsionnykh sistemakh upravleniya = Fundamentals of decision theory in organizational management systems*. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2023. (In Russ.)
3. Khodashahri N.G., Sarabi M.M.H. Decision support system (DSS). *Singaporean Journal of Business Economics and Management Studies*. 2013;1(6):95–102.
4. Dinevski D., Sarenac T., Bele U. Clinical Decision Support Systems. *Telemedicine Techniques and Applications*. 2011;(1):185–210.
5. Kirsanova A.V. The current state and prospects of development of expert medical systems. *Novyy universitet. Ser.: Tekhnicheskie nauki = New University. Ser.: Technical Sciences*. 2015;(11):45–46. (In Russ.)
6. Frolova M.S., Frolov S.V., Tolstukhin I.A. Decision support systems for equipping medical institutions with medical equipment. *Universitet im. V.I. Vernadskogo. Spetsial'nyy vypusk = Vernadsky University. Special issue*. 2014;(52):106–111. (In Russ.)
7. Ludupova E.Yu. Medical errors. Literary review. *Vestnik Roszdravnadzora = Bulletin of Roszdravnadzor*. 2016;(2):6–15. (In Russ.)
8. Vardanyan G.D., Avetisyan G.A., Dzhanyan G.Dzh. Medical errors: the current state of the problem. *Meditsinskaya nauka Armenii NAN RA = Medical Science of Armenia NAS RA*. 2019;(4):105–119. (In Russ.)
9. Avsharov E.M., Abgaryan M.G., Safaryants S.A. Medical image processing as a necessary tool for the medical diagnostic process. *Vestnik rentgenologii i radiologii = Bulletin of Radiology and Radiology*. 2010;(3):54–61. (In Russ.)
10. Palevskaya S.A., Korotkevich A.G. *Endoskopiya zheludochno-kishechnogo trakta = Endoscopy of the gastrointestinal tract*. Moscow: GEOTAR-Media, 2020:752. (In Russ.)
11. Kuvaev R.O., Nikonov E.L., Kashin S.V. et al. Quality control of endoscopic examinations, prospects for automated analysis of endoscopic images. *Kremlevskaya meditsina. Klinicheskiy vestnik = Kremlin medicine. Clinical Bulletin*. 2013;2:51–56. (In Russ.)
12. Kashin S.V., Nikonov E.L., Nekhaykova N.V., Lileev D.V. Standards of high-quality colonoscopy (manual for doctors). *Dokazatel'naya gastroenterologiya = Evidence-based gastroenterology*. 2019;(8):3–32. (In Russ.)

13. Nikolenko S.I. *Mashinnoe obucheniye: osnovy* = *Machine learning: fundamentals*. Saint Petersburg: Piter, 2025:608. (In Russ.)
14. Gudfellou Ya., Bendzhio I., Kurvill' A. *Glubokoe obucheniye* = *Deep learning*. Moscow: DMK-Press, 2017:652. (In Russ.)
15. Khryashchev V.V., Zav'yalov D.V., Anderzhanova A.S. Classification of endoscopic images of the mouth of the appendix based on deep machine learning methods. *Tsifrovaya obrabotka signalov* = *Digital signal processing*. 2023;(1):35–38. (In Russ.)
16. Khryashchev V.V. The use of deep machine learning methods in the task of detecting the dome of the cecum on the video data of a colonoscopic examination. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, and networks in economics, technology, nature, and society*. 2023;(4): 133–141. (In Russ.)
17. Khryashchev V.V. Segmentation of images of polyps during colonoscopic examination using neural networks. *Biomeditsinskaya radioelektronika* = *Biomedical radio electronics*. 2023;26(4):66–72. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Владимир Вячеславович Хрящев

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры цифровых технологий
и машинного обучения,
Ярославский государственный университет
имени П. Г. Демидова
(Россия, г. Ярославль, ул. Советская, 14)
E-mail: v.khryashchev@uniyar.ac.ru

Vladimir V. Khryashchev

Candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the sub-department
of digital technologies and machine learning,
P.G. Demidov Yaroslavl State University
(14 Sovetskaya street, Yaroslavl, Russia)

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов /

The author declares no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 10.02.2025

Поступила после рецензирования / Revised 17.03.2025

Принята к публикации / Accepted 31.03.2025